

Виключення причин магнітної вібрації в тягових двигунах

Калиниченко Ю.С.

Харківська національна академія міського господарства

Магнітна вібрація в тягових електричних двигунах (ТЕД) має зубцову частоту і в деякій смузі частот обертання здатна викликати резонансні коливання остову ТЕД, при яких нормальна робота двигунів стає практично неможливою. Крім того, вібрація збільшує небезпеку пошкодження ізоляції обмоток і веде до збільшення кількості відмов в роботі ТЕД. Більшість малих та середніх двигунів транспорту виконується з хвильовими обмотками якорю при чотирьохполосній магнітній системі. Це зумовлює при симетричному виконанні обмоток непарну кількість пазів в якорі, що може стати причиною виникнення сил одностороннього магнітного тяжіння якоря зубцової частоти.

Сила, що викликає вібрацію, виникає в механічній системі з одним ступенем свободи, по узагальненій координаті δ повітряного зазору і, згідно рівнянню Лагранжа, визначається (з точністю до знака) похідній запасу енергії по цій координаті

$$F = \partial W / \partial \delta$$

де енергія магнітного поля залежить від об'ємного інтеграла

$$W = \int_V \frac{BH}{2} dV = \frac{l\delta}{2\mu_0} \int_{-\alpha\tau/2}^{\alpha\tau/2} B^2(x,t) dx$$

відповідно, сила, діюча на полюс в радіальному напрямі

$$F = \frac{l}{2\mu_0} \int_{-\alpha\tau/2}^{\alpha\tau/2} B^2(x,t) dx, \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

Де α, τ, l – відповідно коефіцієнт полюсної дуги, полюсний поділ і довжина осердя якоря. Магнітна індукція в повітряному зазорі

$$B(x,t) = B_0 \left[1 + B_{m*} \cos\left(\frac{2\pi}{p\tau} x - \frac{\pi n Z}{30} t\right) \right]$$

має дві складові : середнє значення індукції B_0 і змінну величину з амплітудою $B_m = B_0 \cdot B_{m*}$ від зубчатості якоря . Тут прийнято : Z - число пазів якоря, p - число пар полюсів, x, t – просторова і часова координати, n – частота обертання двигуна в об/хв. Інтегрування дає три складові сили :

$$F_0 = \frac{\alpha \tau}{2\mu_0} B_0^2 \left(1 + \frac{B_{m*}^2}{2}\right);$$

$$F_1 = \frac{\alpha \tau}{\mu_0} B_0^2 \frac{B_{m*}^2}{4} \times \frac{\sin(\alpha Z \pi / p)}{\alpha Z \pi / p} \times \cos(2\omega t);$$

$$F_Z = \frac{\alpha \tau}{\mu_0} B_0^2 \times B_{m*}^2 \times \frac{\sin(\alpha Z \pi / p)}{\alpha Z \pi / p} \times \cos(\omega t);$$

Тут $\omega = \frac{\pi Z n}{30}$ – кругова частота зубцового порядку. Дві перші складові

не викликають одностороннього тяжіння, а остання і є причиною вібрації. При непарному числі пазів в чотирьохполюсних машинах полюси, які розташовані діаметрально зсунуті по фазі і в часі (координата ωt) на величину кута $\pm \pi$. Отже, сили під цими полюсами діятимуть в одну сторону по діаметральній осі, співпадаючій з осями цих головних полюсів. Амплітудне значення сили, як впливає з виразу для F_Z , перш за все залежить від кількості зубців, що доводяться на полюсну дугу: при цілому числі сили немає, а при цілому з половиною вона максимальна. Крім того, сила знижується при великому числі пазів і залежить від довжини якоря.

Для зниження магнітної вібрації можна застосувати такі технічні рішення:

- вибір довжини полюсної дуги і кількості пазів якоря таким чином, щоб під полюсною дугою розміщувалося ціле число пазів якоря;
- скіс пазів якоря;
- несиметричне розташування головних полюсів по колу якоря;
- вибір цілої кількості пазів якоря на пару полюсів і застосування в зв'язку з цим хвильових обмоток з “мертвими” секціями;

- “розкриття” повітряного зазора шляхом зміни форми полюсного наконечника.